

**SEMICONDUCTOR LIGHT-EMITTING ELEMENT**

Patent Number: JP2229475  
Publication date: 1990-09-12  
Inventor(s): MATSUOKA TAKASHI; others: 02  
Applicant(s): NIPPON TELEGR & TELEPH CORP  
Requested Patent: ☐ JP2229475  
Application Number: JP19890049660 19890301  
Priority Number(s):  
IPC Classification: H01L33/00; H01S3/18  
EC Classification:  
Equivalents: JP6101587B

**Abstract**

**PURPOSE:** To obtain high quality crystals with minimum defects by epitaxially growing, on a substrate, crystals having lattice conformity with a substrate.

**CONSTITUTION:** A semiconductor light-emitting element consists of a 5μm thick N-type InGa<sub>N</sub> layer 7 grown on an MgO substrate 6 and having lattice conformity with the substrate, a 0.5μm thick light-emitting layer 8 of InGa<sub>N</sub> doped with Zn to increase a resistance and having lattice conformity with the substrate, an electrode 9 on the light-emitting layer and an ohmic electrode 10 on the N-type layer 7. When a positive voltage is applied to the electrode 9 and a negative voltage is applied to the electrode 10, the light-emitting layer 8 emits light at a wavelength of 570nm. An extremely high external quantum efficiency of 0.45% can be obtained. It can be considered that this is because when crystals having a lattice constant matched with that of the substrate are grown on the substrate those crystals have higher crystallinity. Further, if the InGa<sub>N</sub> layer used in the element of the present invention is doped with aluminum under condition such that it has lattice conformity with the substrate, the element is enabled to emit light up to a ultraviolet region of about 413nm.

Data supplied from the esp@cenet database - 12

## ⑫ 公開特許公報(A) 平2-229475

⑤ Int. Cl.<sup>5</sup>H 01 L 33/00  
H 01 S 3/18

識別記号

A

庁内整理番号

7733-5F  
7377-5F

⑬ 公開 平成2年(1990)9月12日

審査請求 未請求 請求項の数 1 (全9頁)

⑭ 発明の名称 半導体発光素子

⑮ 特 願 平1-49660

⑯ 出 願 平1(1989)3月1日

⑰ 発 明 者 松 岡 隆 志 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本電信電話株式会社内

⑰ 発 明 者 佐 々 木 徹 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本電信電話株式会社内

⑰ 発 明 者 勝 井 明 憲 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本電信電話株式会社内

⑰ 出 願 人 日本電信電話株式会社 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号

⑰ 代 理 人 弁理士 高山 敏夫 外1名

## 明 細 書

## 1. 発明の名称

半導体発光素子

## 2. 特許請求の範囲

単結晶基板と、前記単結晶基板上に成長し、かつ前記単結晶基板と異なる組成からなる薄膜とを備える半導体発光素子において、前記単結晶基板は複数の元素の固溶体からなる結晶構造を有し、また前記薄膜は前記単結晶基板上に格子整合して成長した $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_z\text{N}$  ( $x+y+z=1$ 、かつ、 $0 \leq x, y, z \leq 1$ ) 薄膜の少なくとも一層が含まれてなることを特徴とする半導体発光素子。

## 3. 発明の詳細な説明

(産業上の利用分野)

本発明は、化合物半導体発光素子に関するものであり、さらに詳細に説明するならば可視光領域の赤色から紫外で発光する半導体発光素子に関するものである。

(従来の技術)

従来の可視光短波長領域の半導体発光素子とし

ては、GaNを用いたものがある。第12図にその基本構造を示す。この構造はMIS型である。図において1は基板のサファイアを示す。その上にエピタキシャル成長したn形 GaN層2と、Znドープ高抵抗 GaN層3を有し、電極4、5からキャリアを注入して、高抵抗層内で発光させている。

(発明が解決しようとする課題)

この素子で発光強度を上げるためには、熱を発生させることなく、注入電流を増加させる必要がある。そのためには、電極4と5の間の素子抵抗を下げなければならない。そのためには、高抵抗層を薄くする必要がある。しかしながら、高抵抗層を薄くすると、発光層の体積が減ることになり、そのため、発光に寄与することなく電流が流れてしまう。その結果として、無効電流が増加し、発光効率が減少する。このため、大木らが1981年のGaAs及び関連化合物についての国際会議(GaAs and Related Compounds 国際会議)で述べているように、この構造の素子では、外部量子効率が0.12%までのものしか得られておらず、発光強度

を十分に上げることができないという欠点を有している。

今までに製作されている GaN を用いた発光素子の全てが、原理的に低発光効率である MIS 型である。そして、サファイアと GaN との間の結晶の格子定数の差と、GaN の格子定数との比が約 14% と大きいにもかかわらず、サファイアと GaN は結晶構造が似ているという理由のみで、常にサファイア上に GaN が成長されている。その結果として、p 形或いは n 形層に Zn を添加した高抵抗の GaN し得られていない。その最も大きな理由は、前述した大きな格子不整合によると考えられる。すなわち、格子不整合があれば、必ず不飽和結合を生ずる。その不飽和結合自体がドナ・レベルを形成したり、また、ドナとなる不純物を吸引したりする。その結果、GaN は n 形となると考えられる。また GaN の窒素蒸気圧は、一般に実用に供されている GaAs や InP 等の III-V 族の V 族蒸気圧に比べて遥かに高い。従って、格子不整合状態では、窒素空孔が生じ易いことも考えられる。この窒素空

孔がドナ・レベルを形成しているものと推定される。この辺りのことは現在、所科学的に証明されていないが、一般に可能性は極めて高いと考えられている。以上のことから今までに製作されている GaN、あるいは GaN とその他の元素との混晶のエピタキシャル成長膜からなる発光素子は、基板とエピタキシャル膜との格子不整合が大きいため、伝導性を制御できず、発光効率の高い発光素子を形成できないという欠点を有していた。

- (1) Y. Ohki, Y. Toyoda, H. Kobayashi and I. Akasaki : Int. Symp. GaAs and Related Compounds Japan (1981) pp.479.

本発明は上記の欠点を改善するために提案されたもので、その目的は、大電流の注入が可能であり、発光効率の高い、発光層の材料組成を選択することにより可視域から紫外域までに渡る広い波長領域の光を発する半導体発光素子を提供することにある。

(課題を解決するための手段)

上記の目的を達成するため、本発明は単結晶基

板と、前記単結晶基板上に成長し、かつ前記単結晶基板と異なる組成からなる薄膜とを備える半導体発光素子において、前記単結晶基板は複数の元素の固溶体からなる結晶構造を有し、また前記薄膜は前記単結晶基板上に格子整合して成長した  $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_z\text{N}$  ( $x+y+z=1$ 、かつ、 $0 \leq x, y, z \leq 1$ ) 薄膜の少なくとも一層が含まれてなることを特徴とする半導体発光素子を開明の特徴とするものである。

III 族元素 (Ga, Al, In) 窒化物の結晶構造は、全てウルツ鉱型である。また、そのバンド構造は直接遷移型である。第 13 図に (001) 面上の格子定数とバンドギャップエネルギーとの関係を示す。InN-GaN 間及び InN-AlN 間のボーイングパラメータは、それぞれ文献(2)及び(3)による。この図から判るように、InN, GaN 及び AlN から成る二元、三元、或いは四元混晶等を用いることにより、基板に格子整合してバンドギャップエネルギーの異なる材料の多層構造を形成することができる。

従って、本発明と従来技術との差異は、次の二

点である。

第一の差異は、本発明では基板と基板上に成長した結晶の格子定数が整合しているのに対して、従来のものは格子不整合であったことである。この格子不整合のため、従来の結晶では、結晶中に転位等の多くの欠陥が生じ、伝導型制御ができなかったり、あるいは注入したキャリアの寿命が発光再結合にかかる時間より短かったりした。そのため、従来は発光効率の極めて低い MIS 型の発光素子しか作れなかった。ところが本発明の格子整合条件を満たす基板を選択することにより、従来の結晶にあった結晶欠陥を含まない結晶を成長できる。そのため、伝導型制御ができ、注入したキャリアの寿命も長い。この格子整合というのは、エピタキシャル成長をする場合、良質の結晶を得るためには必須の条件である。

第二に、本発明ではヘテロ接合が形成できるのに対して、従来は形成できなかった。一般にこのヘテロ接合を用いることにより、電流注入で発光する素子の発光効率が飛躍的に向上する。このへ

テロ接合は発光素子の発光効率を上げるために必須である。

(2) K. Osamura et al. : J. Appl. Phys., 46 (1975) 3432.

(3) Y. Koida et al. : J. Appl. Phys., 61 (1987) 4540.

はじめに、本発明における複数の元素の固溶体からなる結晶構造を有する単結晶基板と、この基板上に格子整合して成長した薄膜との原子の対応を、夫々の場合について以下に説明する。

#### (I) の場合

(a) 六方最密充填構造を有する単体元素 Lu, Li, Mg, Sc, Ti, Ta 及びこれらの元素の固溶体、或いは Zr や Hf 等の他の元素と固溶した単結晶基板と、前記基板上に格子整合して成長した p 形或いは n 形の伝導型を有し、電気的に半絶縁性である  $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_z\text{N}$  層 ( $x + y + z = 1$ 、かつ、 $0 \leq x, y, z \leq 1$ ) (以下、 $\text{InGaAlN}$  と記す) を一層、或は組成  $x, y, z$  が同一或は異なる層の複数層と、パッシベーション膜或はその他

の混晶と固溶した単結晶基板と、前記基板上に格子整合した  $\text{InGaAlN}$  層とを有することを特徴とする半導体発光素子。

上記 (I) の場合における (001) 面から見た基板と基板上に成長した  $\text{InGaAlN}$  の原子の配置を第 1 図に示す。図中 ● は基板の原子を示し、○ は  $\text{InGaAlN}$  の原子を示す。また、基板及び  $\text{InGaAlN}$  の a 軸方向の格子定数をそれぞれ  $a, a_0$ 、c 軸方向の格子定数をそれぞれ  $c, c_0$  とする。これらの原子の記号及び格子定数の記号は以下の説明においても同様とする。図に示すように上記 (I) の (a)~(e) の場合の基板と  $\text{InGaAlN}$  との組合せの場合、それぞれの原子は一対一に対応する。また、格子定数の関係は、

$$a = a_0$$

である。

#### (II) の場合

(a) 面心立方構造を有し、単体元素 Au, Li, Pb, Pu, Se 及びこれらの元素の固溶体、或は他の元素と固溶した単結晶基板と、前記基板上に格子

の絶縁層と、電極層とを有することを特徴とする半導体発光素子。

(b) ウルツ鉱型構造を有し、二元混晶  $\text{Al}_2\text{CO}$ ,  $\text{AlN}$ ,  $\text{GaN}$ ,  $\text{InN}$  及びこれらの固溶体、或は単体元素や  $\text{ZnO}$  等の他の混晶と固溶した単結晶基板と、前記基板上に格子整合した  $\text{InGaAlN}$  層とを有することを特徴とする半導体発光素子。

(c)  $\text{NiAs}$  構造を有し、二元混晶  $\text{CoS}$ ,  $\text{CrS}$ ,  $\text{FeS}$ ,  $\text{FeSe}$ ,  $\text{NbS}$ ,  $\text{NiS}$ ,  $\text{PtB}$ ,  $\text{RhB}$ ,  $\text{TIS}^*$ ,  $\text{VP}$ ,  $\text{VS}$  及びこれらの固溶体、或は単体元素や他の混晶と固溶した単結晶基板と、前記基板上に格子整合した  $\text{InGaAlN}$  層とを有することを特徴とする半導体発光素子。

(d) 六方  $\text{Cd}(\text{OH})_2$  構造を有する二元混晶  $\text{PtS}_2$ ,  $\alpha\text{-TaS}_2$ ,  $\gamma\text{-TaS}_2$ ,  $\text{TIS}_2$  及びこれらの固溶体、或は単体元素や他の混晶と固溶した単結晶基板と、前記基板上に格子整合した  $\text{InGaAlN}$  層とを有することを特徴とする半導体発光素子。

(e) 六方晶型ペロブスカイト構造を有する  $\text{BaTiS}_3$ ,  $\text{SrTiS}_3$  及びこれらの固溶体、或は単体元素や他

整合した  $\text{InGaAlN}$  層とを有することを特徴とする半導体発光素子。

(b) キュービック・フロライト構造を有し、二元または三元混晶  $\text{Be}_2\text{B}$ ,  $\text{LiMgN}$ ,  $\text{LiZnN}$ ,  $\text{Li}_2\text{O}$ ,  $\text{NbH}_2$ ,  $\text{ScH}_2$  及びこれらの固溶体、或は単体元素や他の混晶と固溶した単結晶基板と、前記基板上に格子整合した  $\text{InGaAlN}$  層とを有することを特徴とする半導体発光素子。

(c) ペロブスカイト構造を有する  $\text{BaThO}_3$ ,  $\text{BaUO}_3$ ,  $\text{CsCaF}_3$ ,  $\text{CsIO}_3$ ,  $\text{CsPbF}_3$ ,  $\text{RbCaO}_3$ ,  $\text{RbIO}_3$  及びこれらの固溶体、或は単体元素や他の混晶と固溶した単結晶基板と、前記基板上に格子整合した  $\text{InGaAlN}$  層とを有することを特徴とする半導体発光素子。

上記 (II) の場合において、(001) 面から見た、基板と基板上に成長した  $\text{InGaAlN}$  の原子の配置を第 2 図に示す。格子定数の関係は、

$$a = 2^{1/2} a_0$$

である。

#### (III) の場合、

(a) 面心立方構造を有し、単体元素Ag, Al, Au, Mo, Pd, Pt及びこれらの元素の合金、或は他の元素と合金化した単結晶基板と、前記基板上に格子整合した InGaAlN層とを有することを特徴とする半導体発光素子。

(b) ペロブスカイト構造を有するAgZnF<sub>3</sub>, BaFeO<sub>3</sub>, BaMnO<sub>3</sub>, BaPbO<sub>3</sub>, BaSnO<sub>3</sub>, BaTiO<sub>3</sub>, BaZrO<sub>3</sub>, CaSnO<sub>3</sub>, CaTiO<sub>3</sub>, CaZrO<sub>3</sub>, CeCrO<sub>3</sub>, CeFeO<sub>3</sub>, CeGaO<sub>3</sub>, CeVO<sub>3</sub>, EuFeO<sub>3</sub>, EuTiO<sub>3</sub>, FeBiO<sub>3</sub>, GdFeO<sub>3</sub>, GdMnO<sub>3</sub>, KCdF<sub>3</sub>, KCoF<sub>3</sub>, KFeF<sub>3</sub>, KMgF<sub>3</sub>, KMnF<sub>3</sub>, KNbO<sub>3</sub>, KNiF<sub>3</sub>, KTaO<sub>3</sub>, KZnF<sub>3</sub>, LaCoO<sub>3</sub>, LaCrO<sub>3</sub>, LaFeO<sub>3</sub>, LaGaO<sub>3</sub>, LaRhO<sub>3</sub>, LaTiO<sub>3</sub>, LaVO<sub>3</sub>, LiBaF<sub>3</sub>, NdCrO<sub>3</sub>, NdFeO<sub>3</sub>, NdGaO<sub>3</sub>, NdVO<sub>3</sub>,  $\alpha$ -PbTiO<sub>3</sub>, PrCrO<sub>3</sub>, PrFeO<sub>3</sub>, PrGaO<sub>3</sub>, PrMnO<sub>3</sub>, PrVO<sub>3</sub>, PuMnO<sub>3</sub>, SbCoF<sub>3</sub>, RbMnF<sub>3</sub>, SmCrO<sub>3</sub>, SmFeO<sub>3</sub>, SmVO<sub>3</sub>, SrFeO<sub>3</sub>, SrHfO<sub>3</sub>, SrMoO<sub>3</sub>, SrSnO<sub>3</sub>, SrTiO<sub>3</sub>, SrZrO<sub>3</sub>, TaSnO<sub>3</sub>, TiCoF<sub>3</sub>及びこれらの固溶体、或単体元素や他の混晶と固溶した単結晶基板と、前記基板上に格子整合した InGaAlN層とを有することを特徴とする半導体発光素子。

CaTi, CdCe, CdLa, CdPr, MgCe, MgLa, MgPr, MgSr, SrTi, TiBi, TiSb及びこれらの固溶体、或は単体元素や他の混晶と固溶した単結晶基板と、前記基板上に格子整合した InGaAlN層とを有することを特徴とする半導体発光素子。

上記(IV)の場合、(001)面から見た、基板と基板上に成長した InGaAlNの原子の配置を第4図に示す。格子定数の関係は、

$$a = (3/2)^{1/2}a_0$$

である。

(V)の場合、

(a) 体心立方構造を有し、単体元素Eu, Sr及びこれらの元素の合金、或は他の元素と固溶した単結晶基板と、前記基板上に格子整合した InGaAlN層とを有することを特徴とする半導体発光素子。

(b) NaCl型構造を有し、二元混晶AgF, CaNH, CeN, DyN, ErN, HoN, LuN, NaF, NaH, NbC, NbCo<sub>0.9</sub>, NbN<sub>0.99</sub>, NpN, NpO, PaO, PuB, PuC, PuN, PuO, ScN, SmO, TaC, TaO, TbN, TaN, UC, UN, UO, YN, YbN, YbO, ZrB, ZrC, ZrN, ZrO及びこれら

上記(III)の場合、(001)面から見た、基板と基板上に成長した InGaAlNの原子の配置を第3図に示す。格子定数の関係は、

$$a = (3/2)^{1/2}a_0$$

である。

(IV)の場合、

(a) 体心立方構造を有し、単体元素Th, Ti及びこれらの元素の固溶体、或は他の元素と固溶した単結晶基板と、前記基板上に格子整合した InGaAlN層とを有することを特徴とする半導体発光素子。

(b) NaCl型構造を有し、二元混晶CoO, CrN, FeO, LiD, LiF, Li<sup>+</sup>F, Li<sup>+</sup>P, LiH, MgO, NbO, PdH<sup>+</sup>, TiC, TiN, TiO<sup>+</sup>, VC, VC<sub>0.99</sub>, VN, VO<sup>+</sup>及びこれらの固溶体、或は単体元素や他の混晶と固溶した単結晶基板と、前記基板上に格子整合した InGaAlN層とを有することを特徴とする半導体発光素子。

(c) CsCl型構造を有し、二元混晶CsBr, CsCN, CsNH<sub>2</sub>, CsSH, ThTe, TiBr, TiCl, TiCN, TiN,

の固溶体、或は単体元素やCaO, CdO, MnO等の他の混晶と固溶した単結晶基板と、前記基板上に格子整合した InGaAlN層とを有することを特徴とする半導体発光素子。

(c) CsCl型構造を有し、二元混晶CsI, CsSeH及びこれらの固溶体、或は単体元素や他の混晶と固溶した単結晶基板と、前記基板上に格子整合した InGaAlN層とを有することを特徴とする半導体発光素子。

(d) 閃亜鉛鉱型構造を有し、二元混晶BaS, BP, BeS及びこれらの固溶体、或は単体元素や他の混晶と固溶した単結晶基板と、前記基板上に格子整合した InGaAlN層とを有することを特徴とする半導体発光素子。

上記(V)の場合、(001)面から見た、基板と基板上に成長した InGaAlNの原子の配置を第5図に示す。格子定数の関係は、

$$a = 2^{1/2}a_0$$

である。

(VI)の場合、

キュービック・スピネル構造を有する  $Al_2CdO_4$ ,  
 $Al_2CoO_4$ ,  $Al_2CuO_4$ ,  $AlFeNiO_4$ ,  $Al_2FeO_4$ ,  $Al_2MgO_4$ ,  
 $Al_2MnO_4$ ,  $Al_2NiO_4$ ,  $Al_2SnO_4$ ,  $Al_2ZnO_4$ ,  $Co_2CuO_4$ ,  
 $Co_2GeO_4$ ,  $Co_2MgO_4$ ,  $Co_2Sb_2O_{12}$ ,  $Co_2SnO_4$ ,  $Co_2TiO_4$ ,  
 $Co_2ZnO_4$ ,  $Co_2O_4$ ,  $(Co, Ni)_2O_4$ ,  $Cr_2CdO_4$ ,  $Cr_2FeO_4$ ,  
 $Cr_2(Pe, Mg)O_4$ ,  $Cr_2MnO_4$ ,  $Cr_2NiO_4$ ,  $Cr_2ZnO_4$ ,  
 $FeCrMnO_4$ ,  $FeMn(Zn_{0.5}Ge_{0.5})O_4$ ,  $Fe_2CoO_4$ ,  $Fe_2CuO_4$ ,  
 $Fe_2GeO_4$ ,  $Fe_2MgO_4$ ,  $Fe_2MnO_4$ ,  $Fe_2(Mg, Mn, Fe)O_4$ ,  
 $Fe_2MnO_4$ ,  $Fe_2MoO_4$ ,  $Fe_2NiO_4$ ,  $Fe_2TiO_4$ ,  $Fe_2ZnO_4$ ,  
 $Fe_2O_4$ ,  $Ga_2CdO_4$ ,  $Ga_2CoO_4$ ,  $Ga_2CuO_4$ ,  $Ga_2MgO_4$ ,  
 $Ga_2NiO_4$ ,  $Ga_2ZnO_4$ ,  $In_2MgO_4$ ,  $LiAlTiO_4$ ,  $LiCoSbO_4$ ,  
 $LiCoVO_4$ ,  $LiCrGeO_4$ ,  $LiCrMnO_4$ ,  $LiCrTiO_4$ ,  $LiFeTiO_4$ ,  
 $LiGaTiO_4$ ,  $LiGeRhO_4$ ,  $LiMnTiO_4$ ,  $LiNiVO_4$ ,  $Li_2NiP_4$ ,  
 $LiRhMnO_4$ ,  $LiTiRhO_4$ ,  $LiVTiO_4$ ,  $LiZnSbO_4$ ,  $Mg_2GeO_4$ ,  
 $Mg_2SnO_4$ ,  $Mg_2TiO_4$ ,  $Mg_2VO_4$ ,  $Mn_2CuO_4$ ,  $Mn_2LiO_4$ ,  
 $Mn_2NiO_4$ ,  $Mn_2TiO_4$ ,  $Ni_2GeO_4$ ,  $Ni_2SiO_4$ ,  $Rh_2CoO_4$ ,  
 $Rh_2CuO_4$ ,  $Rh_2MgO_4$ ,  $Rh_2MnO_4$ ,  $Rh_2ZnO_4$ ,  $Ti_2MgO_4$ ,  
 $Ti_2MnO_4$ ,  $V_2FeO_4$ ,  $V_2LiO_4$ ,  $V_2MgO_4$ ,  $V_2MnO_4$ ,  
 $V_2ZnO_4$ ,  $ZnMn(Mg_{0.5}Ti_{0.5})O_4$ ,  $Zn_2Sb_2O_{12}$ ,  $Zn_2TiO_4$ ,  
 $LiAl_2O_4$ ,  $CuFe_2O_4$ ,  $LiGa_2O_4$  及びこれらの固溶

体、或は単体元素や他の混晶と固溶した単結晶  
 基板と、前記基板上に格子整合した  $InGaAlN$  層  
 とを有することを特徴とする半導体発光素子。  
 上記(VI)の場合、(001)面から見た、基板  
 と基板上に成長した  $InGaAlN$  の原子の配置を第6  
 図に示す。格子定数の関係は、

$$a = 6^{1/2} a_0$$

である。

このように複数の元素の固溶体からなる結晶構  
 造を有する単結晶基板上に、格子整合して成長し  
 た薄膜よりなる半導体発光素子の実施例について  
 説明する。なお、実施例は一つの例示であって、  
 本発明の精神を逸脱しない範囲で、種々の変更あ  
 るいは改良を行いうことは言うまでもない。

#### (実施例1)

第7図は本発明の第1の実施例を説明する図で  
 あり、発光素子の断面を示す。本発光素子は  $MgO$   
 基板6の上に成長した膜厚5  $\mu m$  の基板に格子整合  
 する  $n$  形  $InGaIn$  層7、膜厚0.5  $\mu m$  の  $Zn$  ドープして  
 高抵抗にした基板に格子整合する  $InGaIn$  発光層8、

発光層の電極9と  $n$  形層7のオーミック電極10か  
 ら成る。電極9に正の電圧を、電極10に負の電圧  
 を加えると発光層8は570nmの波長で発光した。  
 その外部量子効率は0.45%と第12図に示した素子  
 と比較して極めて高かった。発光効率がこのよう  
 に高くなった原因は、基板とその上に成長した結  
 晶の格子定数の整合により成長した結晶の結晶性  
 が高くなったためと考えられる。また、本素子に  
 用いた  $InGaIn$  層に、基板と格子整合する条件でアル  
 ミニウムを添加すると約413nmの紫外領域ま  
 で発光させることができる。

#### (実施例2)

第8図は本発明の第2の実施例を説明する図で  
 あり、発光ダイオードの断面を示す。本素子の基  
 本的構造はダブルヘテロ構造であり、 $Al_2MgO_4$  基  
 板11、膜厚5  $\mu m$  の  $Sn$  ドープ  $n$  形  $InGaAlN$  クラッド  
 層12、膜厚0.5  $\mu m$  の  $n$  ドープ  $InGaIn$  活性層13、  
 膜厚2  $\mu m$  の  $Zn$  ドープ  $p$  形  $InGaAlN$  クラッド層14、  
 $n$  形クラッド層のオーミック電極15、 $p$  形クラ  
 ッド層14のオーミック電極16から成る。

ここに示した全ての  $InGaIn$  及び  $InGaAlN$  層は、  
 基板に格子整合してエピタキシャル成長した半導  
 体結晶層である。また、クラッド層と活性層との  
 バンドギャップエネルギー差が0.3eVとなるように、  
 $InGaAlN$  クラッド層の組成を第13図から選んだ。  
 そして、電極15、16にそれぞれ負と正の電圧を加  
 えることにより、電極15、16からそれぞれ電子と  
 正孔を発光層に注入した。その結果、波長450nm  
 の青色発光を観測できた。最大光出力は13mWであ  
 り、外部微分量子効率は3%であった。

#### (実施例3)

第9図は本発明の第3の実施例を説明する図で  
 あり、素子の断面を示す。本素子はレーザである。  
 基本的構造はダブルヘテロ構造を有する埋め込み  
 レーザであり、 $Al_2MgO_4$  基板17、膜厚5  $\mu m$  の  $Sn$  ド  
 ープ  $n$  形  $InGaAlN$  クラッド層18、膜厚0.1  $\mu m$  の  $n$   
 ドープ  $InGaIn$  活性層19、膜厚2  $\mu m$  の  $Zn$  ドープ  $p$   
 形  $InGaAlN$  クラッド層20、 $Zn$  ドープ  $p$  形  $InGaAlN$   
 埋め込み層21、 $Sn$  ドープ  $n$  形  $InGaAlN$  埋め込み層  
 22、 $p$  形クラッド層のオーミック電極23、 $n$  形ク

ラッド層のオーミック電極24から成る。

ここに示した全てのInGaIn及びInGaAlN層は、基板に格子整合してエピタキシャル成長した半導体結晶層である。また、クラッド層及び埋め込み層と活性層とのバンドギャップエネルギー差が0.3 eVとなるように、InGaAlNクラッド層の組成を第13図から選んだ。共振器長は300 $\mu$ mで、活性層幅は0.8 $\mu$ mである。一般に短波長発振素子で問題となるCOD(Catastrophic Optical Damage)レベルを上げるために、電極23は両端面から10 $\mu$ m内側まで形成した。また、熱伝導を良くするために基板の厚みを60 $\mu$ mと薄くし、ダイヤモンド・ヘートシンク上にマウントした。電極23、24にそれぞれ正と負の電圧を加える。そのようにすると一般にInP系やGaAs系を用いた埋め込みレーザと同様に、埋め込み層21と22のpn接合には逆バイアスがかかり、埋め込み層には電流は流れず、活性層にだけ電流が流れる。また、埋め込み層やクラッド層より活性層の屈折率の方が高いため、活性層で発生した光は活性層に閉じ込められる。従って、

であっても基板とその上に成長した結晶の格子定数を一致させるという本発明の基本原理解は、極めて有効であることは言うまでもないことである。(発明の効果)

以上説明したように、本発明によれば基板と格子整合した結晶を基板上にエピタキシャル成長することにより、欠陥の極めて少ない良質の結晶が得られる。その結果、伝導型の制御も可能となり、実施例2と3に示したように電流注入による発光が可能となる利点がある。電流注入による発光はMIS型構造による発光より桁違いに強いと一般的に言われている。本発明の実施例においても、従来からあるMIS型素子と比べてはるかに強い発光が得られている。青色発光などの可視の短波長領域では、視感度が低い。従って、表示装置等にこの波長域の素子を用いる場合、発光ダイオードより、より発光強度の高いレーザが望ましい。本発明によれば、実施例にも示したように、レーザを作ることでもできるという効果がある。

#### 4. 図面の簡単な説明

電流を活性層に挟持でき、光を活性層に閉じ込めることができる。その結果、低閾値電流で外部微分量子効率の高い動作が可能になる。

次に、室温でのCW特性を示す。注入電流を横軸に、光出力を縦軸にとり光出力と注入電流の関係を第10図に、波長を横軸にとり、任意単位の強度を縦軸にとって発振スペクトルを第11図に示す。発振閾注入電流は48mAで、発振波長は452nmで、端面当りの外部微分量子効率は27%であった。また、端面当りの最大光出力は13mWであり、横モードは単一であった。

ここでは、活性層としてInGaAlNを選んだが、基板に格子整合する組成のInGaAlNを選べば、InGaInを活性層とした場合と異なった発振波長のレーザを同様に製作できる。また、p形電極のオーミック抵抗を下げるために、p形クラッド層と電極との間に低抵抗になり易いバンドギャップの狭いInGaAlN層のp形層をキャップ層として一層入れても良い。

以上述べてきた素子構造の他に、他の素子構造

第1図乃至第6図は本発明にかかる基板とその上に成長するIII族元素(Al, Ga, In)窒化物の二元、三元及び四元混晶の(001)面上での原子の対応を示す。

第7図及び第8図はそれぞれ本発明の実施例1及び実施例2の構造の概略を示す。

第9図は本発明の実施例3におけるレーザ共振器方向に垂直な断面構造の概略を示す。

第10図は本発明の実施例3における室温値・CW動作時の片端面からの光出力と注入電流との関係を示す。

第11図は本発明の実施例3における室温値・CW動作時の発振スペクトルを示す。

第12図は従来技術の発光素子の構造の概略、第13図はIII族元素(Al, Ga, In)窒化物の(001)面上の格子定数とバンドギャップエネルギーとの関係を示す。

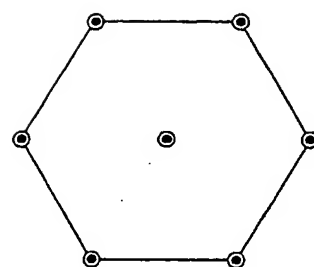
1・・・サファイア基板

2・・・n形GaIn層

3・・・Znドープ高抵抗GaIn層

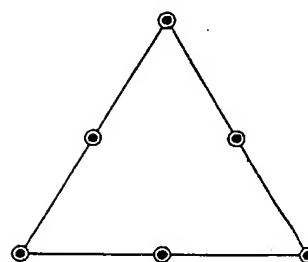
- 4. 5 . . . 金電極
- 6 . . . . MgO 基板
- 7 . . . . n 形 InGaIn 層
- 8 . . . . Znドーブ 高低抗 InGaIn 発光層
- 9 . . . . n 形オーミック電極
- 10 . . . . 金電極
- 11 . . . . Al<sub>2</sub>MgO<sub>4</sub> 基板
- 12 . . . . Snドーブ InGaAlN クラッド層
- 13 . . . . ノンドーブ InGaIn 発光層
- 14 . . . . Znドーブ InGaAlN クラッド層
- 15 . . . . p 形オーミック電極
- 16 . . . . n 形オーミック電極
- 17 . . . . Al<sub>2</sub>MgO<sub>4</sub> 基板
- 18 . . . . Snドーブ InGaAlN クラッド層
- 19 . . . . ノンドーブ InGaIn 発光層
- 20 . . . . Znドーブ InGaAlN クラッド層
- 21 . . . . Znドーブ InGaAlN クラッド層
- 22 . . . . Snドーブ InGaAlN クラッド層
- 23 . . . . p 形オーミック電極
- 24 . . . . n 形オーミック電極

第 1 図

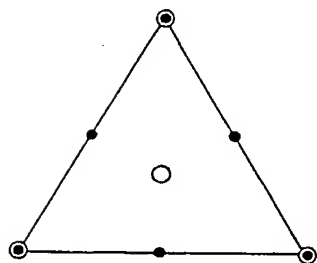


○ -- InGaAlN 原子  
● -- 基板原子

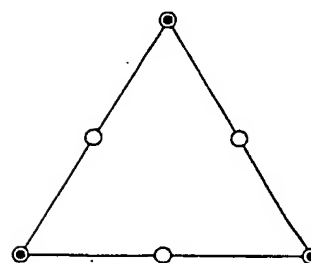
第 2 図



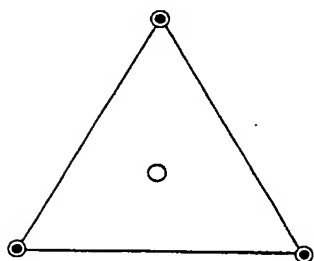
第 3 図



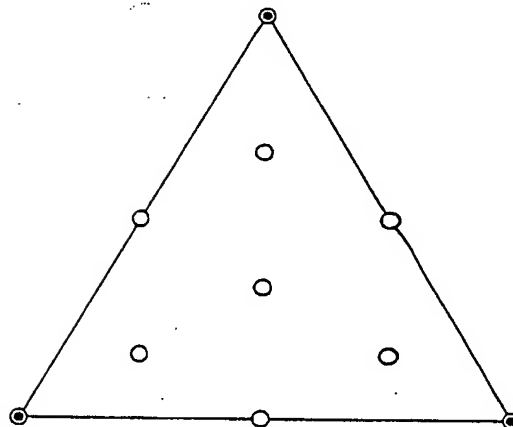
第 5 図



第 4 図

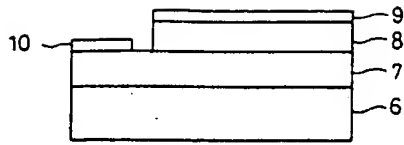


第 6 図



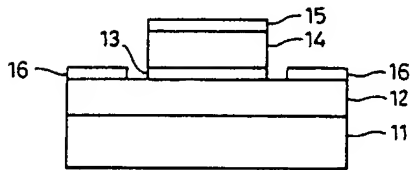


第 7 図



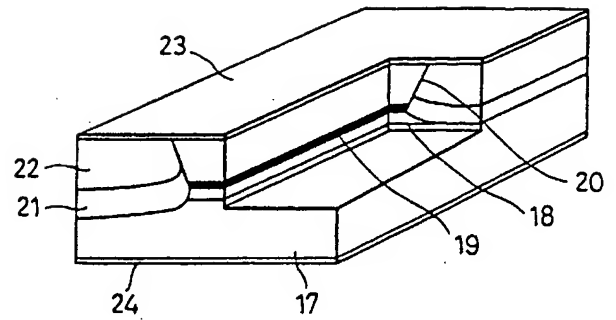
- 6 --- MgO 基板
- 7 --- n 型 InGaIn 層
- 8 --- ZnO- $\gamma$  非晶 InGaIn 発光層
- 9 --- 電極
- 10 --- 電極

第 8 図



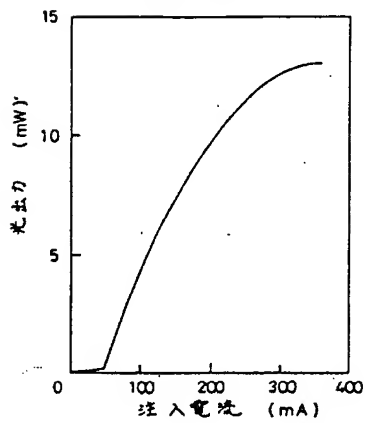
- 11 --- Al<sub>2</sub>MgO<sub>4</sub> 基板
- 12 --- SnO- $\gamma$  InGaAlN クラッド層
- 13 --- ノンド- $\gamma$  InGa 発光層
- 14 --- ZnO- $\gamma$  InGaAlN クラッド層
- 15 --- 電極
- 16 --- 電極

第 9 図

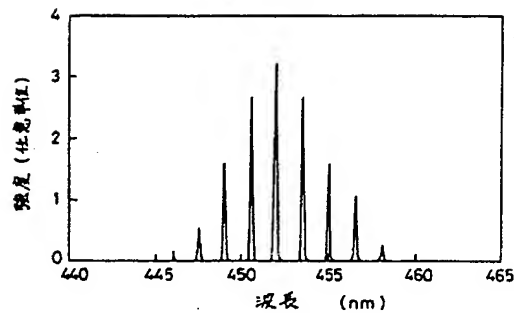


- 17 --- Al<sub>2</sub>MgO<sub>4</sub> 基板
- 18 --- SnO- $\gamma$  InGaAlN クラッド層
- 19 --- ノンド- $\gamma$  InGa 発光層
- 20, 21 --- ZnO- $\gamma$  InGaAlN クラッド層
- 22 --- SnO- $\gamma$  InGaAlN クラッド層
- 23, 24 --- 電極

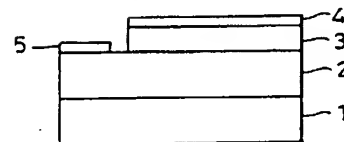
第 10 図



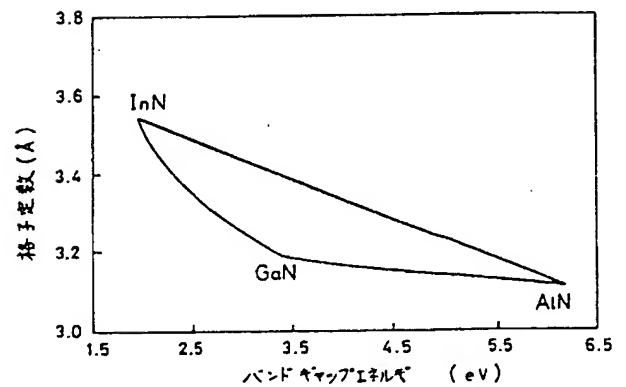
第 11 図



第 12 図



第 13 図



## 手続補正書(自発)

平成1年6月1日

特許庁長官 吉田 文毅 殿

## 1. 事件の表示

平成1年 特 許 願 第49660号

## 2. 発明の名称

半導体発光素子

## 3. 補正をする者

事件との関係 特許出願人

名 称 (422) 日本電信電話株式会社

## 4. 代 理 人 〒160

住 所 東京都新宿区西新宿7丁目5番10号  
第2ミゾタビルディング7階  
電話(03)365-1982番

氏 名 弁理士(6108) 高 山 敏 夫

## 5. 補正の対象

明細書中「特許請求の範囲」及び「発明の詳細な説明」の欄

## 6. 補正の内容

(6) 同第19頁第9行目の「Catastrophic」を「Catastrophic」と訂正する。

(7) 同第19頁第12, 13行目の「ヘートシンク」を「ヒートシンク」と訂正する。

(1) 特許請求の範囲を別紙のように訂正する。

(2) 明細書第4頁末行～第5頁第9行目の「上記の目的を達成するため・・・るものである。」を次のように訂正する。

「上記の目的を達成するため、本発明は単結晶基板と、前記単結晶基板上に成長し、かつ前記単結晶基板と異なる組成からなる薄膜とを備える半導体発光素子において、前記単結晶基板は単体元素又は複数の元素の固溶体からなる結晶構造を有し、また前記薄膜は前記単結晶基板上に格子整合して成長した $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_z\text{N}$  ( $x+y+z=1$ 、かつ、 $0 \leq x, y, z \leq 1$ ) 薄膜の少なくとも一層が含まれてなることを特徴とする半導体発光素子を発明の要旨とするものである。」

(3) 同第8頁第3行目の「二元混晶」を「混晶」と訂正する。

(4) 同第9頁第19行目の「Pu, Se」を「Pu, Sc」と訂正する。

(5) 同第14頁第5行目の「二元混晶」を「混晶」と訂正する。

## 特許請求の範囲

単結晶基板と、前記単結晶基板上に成長し、かつ前記単結晶基板と異なる組成からなる薄膜とを備える半導体発光素子において、前記単結晶基板は単体元素又は複数の元素の固溶体からなる結晶構造を有し、また前記薄膜は前記単結晶基板上に格子整合して成長した $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_z\text{N}$  ( $x+y+z=1$ 、かつ、 $0 \leq x, y, z \leq 1$ ) 薄膜の少なくとも一層が含まれてなることを特徴とする半導体発光素子。